

적두 및 흑두의 부위별 항산화 특성

이란숙 · 최은지 · 김창희 · 성정민 · 김영봉 · 금준석 · 박종대

한국식품연구원

Antioxidant Properties of Different Parts of Red and Black Adzuki Beans

Lan-Sook Lee, Eun-Ji Choi, Chang-Hee Kim, Jung-Min Sung,
Young-Boong Kim, Jun-Seok Kum, and Jong-Dae Park

Korea Food Research Institute

ABSTRACT The objective of this study was to investigate the polyphenolic compounds found in different parts of red and black adzuki beans and to determine the contribution of polyphenolic compounds to the antioxidant properties of adzuki beans. Total polyphenolic and proanthocyanidin contents were studied and their antioxidant activities were determined by ferric reducing antioxidant power, 1,1-diphenyl-2-picrylhydrazyl (DPPH), and 2,2'-azino-bis (3-ethylbenzothiazoline-6-sulfonic acid) diammonium salt assay. The highest total polyphenolic content was found in seed coats (26.1~33.9 mg/g), followed by whole beans (6.9~8.0 mg/g) and dehulled beans (3.3~3.4 mg/g). The highest total proanthocyanidin content was also found in seed coat with 26.5~30.7 mg/g. Moreover, seed coats exhibited the highest antioxidant activity regardless of analytical methods. Antioxidant activity was positively and significantly correlated with total polyphenolic content with the exception of dehulled beans, in which there was no correlation with total polyphenolic content. In particular, the highest correlation was found between DPPH and total polyphenolic content ($r=0.945$, $P<0.01$) in whole beans.

Key words: adzuki bean, seed coat, polyphenolic, proanthocyanidin, antioxidant activity

서 론

팥(small red bean, adzuki bean, *Vigna angularis*)은 우리나라를 비롯해 일본, 중국 등 동북아시아에서 주로 재배되며, 국내에서는 콩 다음으로 수요가 많은 두류이다. 팥은 20~25%의 단백질을 함유하고 있는 고단백 식품이며 55~70%의 탄수화물, 0.5~2.1%의 지방을 함유하고 있다(1-3). 또한 비타민 B1을 포함한 각종 비타민, 칼륨, 마그네슘 등의 무기질 및 glutamic acid, lysine 등 아미노산이 풍부하게 함유되어 있다(3). 팥 종피에는 proanthocyanidin, quercetin glycoside 등 폴리페놀 성분이 풍부하게 존재하며, 특히 proanthocyanidin은 천연 항산화제로 심혈관 질환, 염증, 당뇨 등에 효과가 있는 것으로 보고되어 있다(4-7).

팥은 품종, 재배 및 생육 조건 등에 따라 적색, 흑색, 갈색, 녹색 또는 이들 색이 혼합된 색 등 종피 색이 다양하다. 우리나라, 일본 및 중국에서 팥의 종피 색에 대한 조사 결과를 보면 적색이 가장 많이 유통되고 있는 것으로 보고되었다(8,9). 또한 팥의 자엽에 주로 함유되어 있는 전분입자가 단

백질 matrix에 쌓여 있는 특이한 구조적 특성으로 인해 떡, 제과, 제빵용 소재로 많이 이용되어 왔다(3,10). 최근에는 소비자의 건강에 대한 관심 증가 및 팥의 여러 가지 생리활성 효과가 밝혀지면서 두유, 팥차, 화장품 등 고부가가치 가공제품으로의 이용이 증대되고 있다.

팥에 대한 국내 연구에는 팥 재배, 종자개량 및 품종에 대한 연구, 팥 전분이나 단백질에 대한 연구, 볶음팥, 생팥, 증자팥에 대한 연구가 진행되었다(11-17). 또한 팥 메탄올 추출물이나 종피 또는 팥 전체 추출물을 이용한 항산화, 항암 등 생리활성에 대한 연구가 진행되었다(17-19). 한편 팥, 콩 등 두류를 대상으로 종피가 제거된 자엽 및 종피 제거 전의 두류에 대해 gelling 특성, emulsion 안정성, foaming 형성 및 안정성, water absorption, whipping volume 등 가공특성 연구와 phytic acid, polyphenol 등 영양학적 특성에 대한 연구가 국외에서 보고되었다(20,21). 그러나 두류 중 콩의 각 부위의 항산화 특성에 대한 연구는 보고되어 있으나 팥의 각 부위를 대상으로 한 연구는 거의 없는 실정이다(22,23).

따라서 본 연구에서는 다양한 팥 이용 제품의 용도에 맞게 생리활성 물질들을 보다 효율적으로 활용하기 위한 기초 자료를 얻고자 일반적으로 가장 많이 유통되고 있는 적두 및 흑두를 대상으로 팥 각 부위의 페놀 함량과 항산화 활성 그

리고 그들 간의 상관관계에 대한 연구 결과를 보고하고자 한다.

재료 및 방법

실험재료 및 시약

실험에 사용한 팥(*Vigna angularis*)은 2013년도 강원도 횡성에서 생산된 것으로 적두(충주팥) 및 흑두(검구슬, 밀양 10호)를 대상으로 하였다. 팥은 종피 분리를 위해 20°C incubator(IB-15G, Jeio Tech Co., Ltd., Daejeon, Korea)에서 팥 무게 10배의 증류수를 넣어 8시간 침지시킨 후 종피를 손으로 벗겨내었다. 시료는 종피 및 배아를 포함하는 작업 부분으로 구분 후 60°C에서 열풍건조(HK-DO1000F, Korea General Equipment Manufacturing, Hwaseong, Korea) 하였으며, 분쇄기(HGB7WTS3, Waring Commercial, Torrington, CT, USA)로 분쇄 후 체로 쳐서 38~600 µm의 분쇄물만을 취하여 4°C에 저장하면서 분석용 시료로 사용하였다. 팥의 항산화 시험 측정용 시약으로 Folin-Ciocalteu's phenol reagent, sodium carbonate, gallic acid, sodium acetate trihydrate, ferric chloride hexahydrate, potassium persulfate, *n*-butanol, hydrochloric acid, methanol, acetone, (±)-6-hydroxy-2,5,7,8-tetramethylchromane-2-carboxylic acid(Trolox), ferric ammonium sulfate dodecahydrate, 2,4,6-tri(2-pyridyl)-s-triazine(TPTZ), 1,1-diphenyl-2-picrylhydrazyl(DPPH), 2,2'-azino-bis(3-ethylbenzothiazoline-6-sulfonic acid) diammonium salt(ABTS)는 Sigma-Aldrich Co.(St. Louis, MO, USA) 제품을, cyanidin chloride는 Extrasynthese (Lyon, France) 제품을 사용하였다.

추출물 제조

총 polyphenolic compounds 및 총 proanthocyanidin 함량과 항산화 활성 측정을 위한 추출물은 각 시료 분말에 10배의 80% acetone을 넣어 shaking incubator(SIF 6000 R, Jeio Tech Co., Ltd.)를 사용하여 20°C에서 12시간 교반 추출하였으며, 0.45 µm membrane filter(Sartorius, Göttingen, Germany)로 여과하여 분석용 시료로 사용하였다.

백립중 측정

백립중(100-seed weight) 측정은 선별된 건진립을 100 개씩 취하여 3회 반복 측정하였으며 평균(mean)과 표준편차(SD)로 나타내었다

색도 분석

색도 측정을 위해 투명한 플라스틱 원통용기(35×10 mm)에 담아 색차계(CM-2500D, Minolta, Tokyo, Japan)를 사용하여 L 값(lightness), a 값(+ redness, -greenness), b 값(+ yellowness, -blueness)을 측정하였다. 색도 값은 각각

3개씩 준비하여 3회 반복 측정하였으며 평균(mean)과 표준편차(SD)로 나타내었다.

Total polyphenolic compounds 함량 측정

총 polyphenolic compounds 함량은 Folin-Ciocalteu 방법(24)에 따라 96 well microplate에 시료를 분주하고 microplate reader(Epoch, BioTek, Winooski, VT, USA)를 이용하여 측정하였다. 시료 용액 20 µL에 Folin-Ciocalteu 시약 100 µL를 가하고 8분 후에 7.5% Na₂CO₃ 80 µL를 가하여 2시간 방치 후에 765 nm에서 흡광도를 측정하였다. 이때 표준물질로 gallic acid를 사용하여 얻은 표준곡선($y=0.0031x-0.3003$, $r^2=0.9956$)으로부터 총 polyphenolic compounds 함량을 gallic acid equivalent(GAE)로 환산 후 mg GAE/g으로 나타냈다.

Total proanthocyanidin 함량 측정

총 proanthocyanidin 함량은 Porter 등(25)의 방법을 일부 변형하여 측정하였다. 뚜껑 있는 시험관에 시료 용액 0.5 mL, *n*-butanol-HCl(95:5, v/v) 3 mL 및 2 M HCl 용액에 ferric ammonium sulfate를 2% 수준(w/v)으로 용해시켜 제조한 iron 용액 0.1 mL를 가하여 교반시켰다. 끓고 있는 water bath(C-WBE, Chang Shin Science Co., Pocheon, Korea)에서 50분간 반응시킨 후 즉시 냉각하였으며 96 well microplate에 분주하여 550 nm에서 측정하였다. 이때 표준물질로 cyanidin chloride를 사용하여 얻은 표준곡선($y=3.6535x+0.0342$, $r^2=0.9982$)으로부터 총 proanthocyanidin 함량을 cyanidin chloride equivalent(CCE)로 환산 후 mg CCE/g으로 나타냈다.

Ferric reducing antioxidant power(FRAP) 측정

FRAP 활성은 Benzie와 Strain(26)의 방법을 일부 변형하여 96 well microplate에 시료를 분주한 후 microplate reader로 측정하였다. 시료 용액 10 µL에 10 mmol TPTZ/40 mmol HCl, 20 mmol ferric chloride 및 300 mmol acetate buffer(pH 3.6)를 1:1:10(v/v/v)의 비율로 혼합하여 제조한 FRAP reagent 300 µL를 가한 다음 실온에서 10분 방치 후에 593 nm에서 흡광도를 측정하였다. 이때 표준물질로 Trolox를 사용하여 얻은 표준곡선($y=1.0356x+0.0199$, $r^2=0.9979$)으로부터 시료의 항산화 활성을 Trolox equivalent(TE)로 환산하여 mmol TE/g으로 나타냈다.

DPPH radical 소거 활성 측정

시료의 DPPH radical 소거 활성은 Brand-Williams 등(27)의 방법을 일부 변형하여 96 well microplate에 시료를 분주한 후 측정하였다. 시료 용액 10 µL에 0.12 mM DPPH 용액 190 µL를 가하여 실온에서 30분간 방치 후에 517 nm에서 흡광도를 측정하였다. 이때 표준물질로 Trolox를 사용하여 얻은 표준곡선($y=-0.5698x+0.6673$, $r^2=0.9979$)으로

부터 시료의 항산화 활성을 Trolox equivalent(TE)로 환산하여 mmol TE/g으로 나타냈다.

ABTS radical 소거 활성 측정

ABTS radical 소거 활성은 Thaipong 등(28)의 방법을 일부 변형하여 96 well microplate에 시료를 분주한 후 측정하였다. 7.4 mmol ABTS와 2.6 mmol potassium persulfate를 1:1(v/v) 비율로 혼합하고 16시간 동안 암소에 방치하여 ABTS 양이온을 형성시킨 후 phosphate buffered saline(pH 7.4)을 이용하여 734 nm에서 흡광도 값이 0.9~1.0이 되도록 희석하였다. 시료 용액 10 µL에 희석된 ABTS radical 용액 190 µL를 가하여 실온에서 60분간 방치 후에 734 nm에서 흡광도를 측정하였다. 이때 표준물질로 Trolox를 사용하여 얻은 표준곡선($y = -0.4933x + 0.765$, $r^2 = 0.9969$)으로부터 시료의 항산화 활성을 Trolox equivalent(TE)로 환산하여 mmol TE/g으로 나타냈다.

통계처리

모든 분석 결과는 SPSS(version 17.0, SPSS Inc., Chicago, IL, USA) 프로그램을 사용하여 통계처리 하였으며, 분산분석(ANOVA)을 이용하여 5% 수준에서 Duncan의 다중범위검정을 실시하고 유의성을 검정하였다.

결과 및 고찰

백립종 및 색도 특성

팥 종피 색은 제과, 제빵, 떡소용 등의 앙금용 및 통팥용에서 팥 선택 기준이 되며, 특히 일본에서는 적자색 팥을 adzuki bean이라 부르며 적자색 팥을 가장 선호하는 것으로 알려져 있다(29,30). 황성산 적두와 흑두의 백립종 및 색도를 측정된 결과는 Table 1에 나타내었다. 적두 및 흑두의 백립중은 각각 19.62 g 및 18.58 g으로 적두가 유의적으로 높게 나타났다. 백립중은 팥 100알의 무게로서 수량 및 가공 특성에 영향을 미치는 중요한 요인으로 Rho 등(11)은 국내 산 팥 361 자원에 대한 백립중은 4.7~22.7 g인 것으로 보고 하였으며, Yoon 등(12) 또한 국내 전역에서 수집된 팥 150 자원의 백립중은 5.7~23.0 g임을 보고한 바 있다. 백립중은 팥의 작물학적 형질 특성 중 변이 폭이 가장 큰 것으로 알려져 있으나 평균 백립중은 지역 간 큰 차이가 없는 것으로 보고 하였다(11,12). 백립중은 팥의 형질 특성 중 가변 특성으로

무게에 따라 크게 소립(<12 g), 중립(12~18 g) 및 대립(>18 g)으로 나눌 수 있으며(13), 일반적으로 적두인 충주팥 및 흑두인 검구슬팥은 중립종으로 알려져 있으나 본 실험에 사용된 황성산 충주팥 및 검구슬팥은 중립종과 대립종 경계 값을 나타내 백립중이 비교적 높은 경향을 보였다. 또한 팥의 크기는 수화속도와 앙금 입자의 크기에 영향을 미치며 팥의 크기가 작을수록 수화속도는 더 빠르고 앙금 입자의 크기는 더 작아지는 것으로 보고되고 있다(31). 팥의 색 또한 가공 적성에 영향을 미치는 중요한 인자로 국내에서는 종피색이 적색 계통인 적두와 검정색 계통인 흑두가 가장 많이 유통되고 있으며, 황성산 적두에서는 L 값 31.97, a 값 9.75, b 값 3.54 그리고 흑두에서는 L 값 31.12, a 값 0.32, b 값 0.95를 나타냈다.

Total polyphenolic compounds 및 total proanthocyanidin 함량

팥에 함유되어 있는 phenolic acid, proanthocyanidin 등 페놀성 화합물은 우수한 항산화 효과를 나타내는 것으로 알려져 있다(4). 일반적으로 페놀성 화합물은 과일, 채소, 두류 등 식물체에서 추출 시 물이나 수용성 유기용매가 주로 사용되며 추출용매, 추출시간 등 추출조건은 추출물의 생리활성에 영향을 미친다. Gu 등(32)과 Amarowicz 등(33)은 식물체로부터 수용성 acetone으로 추출 시 페놀성 화합물 함량이 가장 높게 추출되었음을 보고한 바 있다. 따라서 본 연구에서는 황성산 팥의 항산화 특성을 알아보기 위해 80% acetone을 추출용매로 사용하였으며 팥의 주된 항산화 물질인 총 polyphenolic compounds와 총 proanthocyanidin 함량에 대한 분석 결과는 Fig. 1에 나타내었다. 적두 및 흑두 각 부위별 총 polyphenolic compounds 함량은 종피에서 가장 높게 나타났으며, 적두 및 흑두 종피에는 각각 33.9 및 26.1 mg GAE/g으로 적두 종피에 더 높게 함유되어 있었다. 종피 제거 후의 적두 및 흑두 자엽 중에 함유된 총 polyphenolic compounds 함량은 각각 3.4 및 3.3 mg GAE/g으로 유의적 차이를 보이지 않았다($P < 0.05$). Proanthocyanidin은 나무 껍질이나 종실 바깥 부분에 주로 함유되어 있는 항산화 물질로서 팥 종류에 상관없이 종피에서 가장 높게 나타났으며, 특히 적두에서 30.7 mg CCE/g으로 가장 높게 함유되어 있었다. 그리고 총 proanthocyanidin 함량은 종피 제거 전의 원료 팥에서 종피 제거 후의 자엽보다 높게 함유되어 있었으나 통계적으로 유의적 차이를 보이지 않았다($P < 0.05$). Woo

Table 1. Hundred-seed weight and color values of red and black adzuki beans

	100-seed weight (g)	Color values		
		L	a	b
Red adzuki bean	19.62±0.06 ^{a1)}	31.97±0.95 ^{NS2)}	9.75±1.33 ^a	3.54±0.51 ^a
Black adzuki bean	18.58±0.41 ^b	31.12±0.47	0.32±0.03 ^b	0.95±0.25 ^b

¹⁾All values are mean±SD. Values within a column with different letters are significantly different by ANOVA with Duncan's multiple range test at $P < 0.05$.

²⁾NS: not significant.

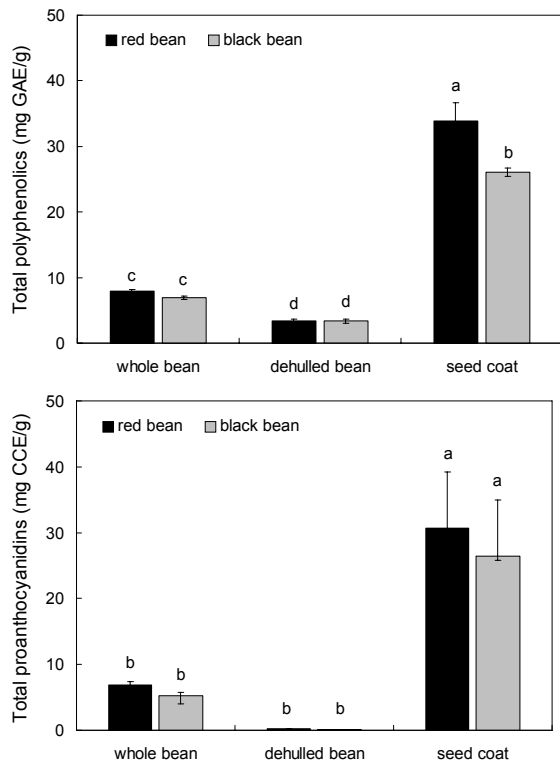


Fig. 1. Total polyphenolic and total proanthocyanidin contents in different parts of red and black adzuki beans. All values are mean \pm SD on a dry weight basis. Values marked above the bars with different letters are significantly different by ANOVA with Duncan's multiple range test at $P < 0.05$.

등(18)은 국내산 팥에 대한 80% methanol 추출물의 총 polyphenolic compounds 및 총 proanthocyanidin 함량은 각각 19.00~34.75 및 1.83~ 3.29 mg/g임을 보고한 바 있으며, Kato와 Souma(34)는 일본산 팥에는 총 polyphenolic compounds가 평균 37 mg/g 함유되어 있음을 보고하였다.

항산화 활성

황성산 적두와 흑두의 항산화 활성은 FRAP, DPPH 및 ABTS assay를 이용하여 Trolox equivalent(TE)로 환산하여 측정하였으며 그 결과는 Fig. 2에 나타내었다. 시료에서의 항산화 활성은 동일한 방법으로 측정 시 팥 종류에 상관없이 종피에서 가장 높게 나타났으며, 시료 중 적두 종피에서 256.29~379.81 mmol TE/g으로 가장 높은 활성을 나타냈다. 반면에 팥 부위 중 자엽에서 가장 낮은 항산화 활성을 나타냈으며 적두와 흑두 간의 항산화 활성에 유의적 차이는 없었다($P < 0.05$). 일반적으로 항산화 활성은 팥에 존재하는 polyphenolic compounds에 기인하여 활성을 나타내는 것으로 볼 때 적두 종피가 항산화 활성이 가장 높은 것도 이에 함유된 polyphenolic compounds에 기인된 것으로 판단된다. 팥에서 항산화 활성을 나타내는 물질로는 protocatechuic acid, coumaric acid 등 phenolic acids와 kaempferol, quercetin, myricetin 등의 flavonoid aglycone 또는 gly-

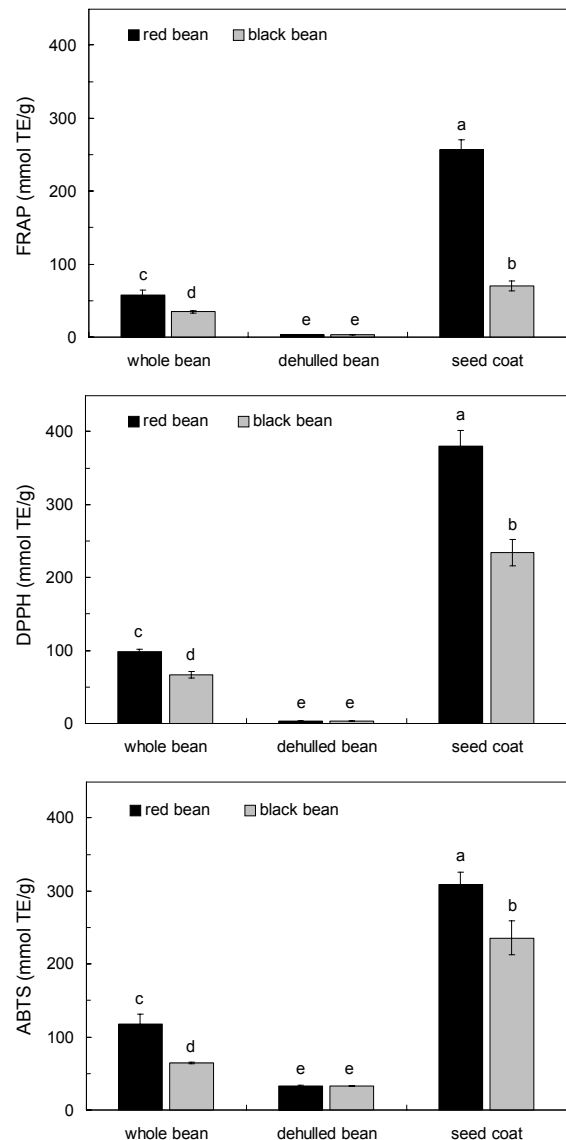


Fig. 2. Antioxidant activities in different parts of red and black adzuki beans as determined by the ferric reducing antioxidant power (FRAP), 1,1-diphenyl-2-picrylhydrazyl (DPPH), and 2,2'-azino-bis(3-ethylbenzothiazoline-6-sulfonic acid) (ABTS) assays. All values are mean \pm SD on a dry weight basis. Values marked above the bars with different letters are significantly different by ANOVA with Duncan's multiple range test at $P < 0.05$.

cosides 그리고 proanthocyanidins 등이 알려져 있다(35). 특히 팥 종피에는 배당체 형태로 함유되어 있는 proanthocyanidins에 의해 강력한 항산화 활성을 나타내는 것으로 보고되고 있다(4,7). Proanthocyanidin은 anthocyanidin의 진구체로서 단량체들의 hydroxylation pattern에 따라 procyanidins, prodelphinidins, propelargonidins 등으로 나눌 수 있으며, catechin과 epicatechin 단위로 구성된 procyanidins이 가장 일반적인 것으로 알려져 있다(36).

한편 FRAP, DPPH 및 ABTS assay는 항산화 활성 측정을 위해 가장 많이 사용되고 있는 방법으로 반응 메커니즘에

차이가 있다(37). 즉 ABTS assay는 ABTS radicals을 이용한 electron transfer에 기초한 방법이고, DPPH assay는 DPPH radicals과 항산화제 사이의 hydrogen atom 및 electron transfer에 기초한 방법이다. 반면에 FRAP assay는 free radicals 없이 electron transfer에 기초한 방법이다. 본 실험 결과 적두의 종피를 제외하고는 전반적으로 ABTS로 측정 시 가장 높은 활성 값을 보였다. 이처럼 측정 방법에 따라 항산화 활성에 차이를 보이는 것은 반응하는 성분의 차이로 생각되며 개별 polyphenolic compounds에 대한 연구가 더 이루어져야할 것이다. 또한 항산화 활성은 측정 방법에 따라 결과에 다른 영향을 미치므로 한 가지 방법보다는 여러 가지 방법을 동시에 사용하여 분석하는 것이 바람직할 것으로 사료된다. 이상의 결과를 볼 때 황성산 적두 및 흑두는 우수한 항산화 활성을 가지는 것으로 나타났으며, 특히 종피 부분의 활성이 매우 뛰어나므로 종피를 이용한 천연 항산화제 개발이나 팔 이용 제품의 용도에 맞게 생리활성 물질들을 보다 효율적으로 활용하기 위한 기초 자료로 이용될 수 있을 것으로 생각한다.

항산화 성분과 항산화 활성과의 상관관계

팔 부위별 항산화 성분과 항산화 활성과의 상관관계를 분석 후 상관계수 값(Pearson's correlation coefficient, r)을 Table 2에 나타내었다. 원료 팔에서는 총 polyphenolic compounds 함량과 항산화 활성 간에 상관관계가 있는 것으로 나타났으며, 특히 FRAP($r=0.860$, $P<0.05$)나 ABTS($r=0.858$, $P<0.05$)보다 DPPH($r=0.945$, $P<0.01$)에 대한 상관성이 가장 높은 것으로 나타났다. 또한 종피에서도 총 polyphenolic compounds 함량과 항산화 활성 간에만 상관관계가 있는 것으로 나타났으며, 특히 총 polyphenolic compounds 함량과 ABTS 간의 상관관계가 가장 높은 것으로 나타났다($r=0.942$, $P<0.01$). 자엽에서는 항산화 성분과 항산화 활성 간에 연관성이 없는 것으로 나타났다. Woo 등(18)은 팔 메탄올 추출물에 대한 항산화 성분과 항산화 활성 간의 상관관계를 분석한 연구에서 총 polyphenolic compounds 함량은 ABTS와는 상관관계가 없었으나 DPPH와

Table 2. Pearson's correlation between antioxidant activity and phenolic compounds

	Pearson's correlation coefficient (r)		
	FRAP	DPPH	ABTS
Whole bean			
Total polyphenolics	0.860*	0.945**	0.858*
Total proanthocyanidins	0.735	0.787	0.760
Dehulled bean			
Total polyphenolics	-0.637	0.273	0.176
Total proanthocyanidins	-0.193	0.312	0.003
Seed coat			
Total polyphenolics	0.931**	0.910*	0.942**
Total proanthocyanidins	0.379	0.400	0.129

The direction and magnitude of correlation between variables was quantified by the correlation coefficient r, * $P<0.05$, ** $P<0.01$.

는 높은 상관관계($r=0.965$, $P<0.001$)가 있음을 보고하였고, 또한 총 proanthocyanidin 함량은 ABTS($r=0.76$, $P<0.01$) 및 DPPH($r=0.75$, $P<0.01$) 활성과 상관성이 있음을 보고하여 본 연구와 다른 결과를 보였다. 이러한 결과는 팔 추출 시 사용한 추출용매에 의한 영향으로 추출용매의 극성에 따라 특정 polyphenolic compounds의 추출력에 영향을 미쳐 전체 항산화 활성에 영향을 준 것으로 사료되며, 이는 Xu와 Chang(38)의 추출용매에 따른 항산화 활성의 결과와도 일치하였다. 즉 black bean이나 red kidney의 경우 80% acetone으로 추출 시 DPPH 활성 값이 더 높게 나타났으나 100% ethanol로 추출 시 FRAP 활성 값이 더 높았으며, yellow soybean의 경우 두 용매 모두 DPPH 활성 값이 더 높게 나타났음을 보고하였다. 한편 팔 추출 시 수용성 acetone은 proanthocyanidin 추출을, 메탄올은 flavonoid 추출을 위한 이상적인 용매로 알려져 있다(32,39).

요 약

적두 및 흑두를 대상으로 백립중, 색도 등 물리적 특성과 종피 및 종피 제거 전과 후의 각 부분에 대한 항산화 성분 및 항산화 활성에 대해 비교 분석하였다. 적두 및 흑두의 백립중은 각각 19.62 g 및 18.58 g으로 적두가 유의적으로 높게 나타났다. 팔 표면의 종피 색은 적두에서는 L 값 31.97, a 값 9.75, b 값 3.54 그리고 흑두에서는 L 값 31.12, a 값 0.32, b 값 0.95를 나타냈다. 총 polyphenolic compounds 함량은 적두 종피에서 33.9 mg GAE/g으로 가장 높게 나타났으며, 총 proanthocyanidin 함량 또한 적두 종피에서 30.70 mg CCE/g으로 가장 높은 함량을 보였으나 흑두 종피와 유의적 차이는 없었다. 항산화 활성은 동일 방법으로 측정 시 종피에서 가장 높게 나타났으며, 적두의 종피를 제외하고는 전반적으로 ABTS로 측정 시 가장 높은 활성 값을 보였다. 팔 각 부위별 항산화 성분과 활성과의 상관관계를 분석한 결과 원료 팔 및 종피에서 총 polyphenolic compounds 함량과 항산화 활성 간의 높은 상관관계가 있음을 알 수 있었다. 따라서 적두 및 흑두 각 부분에 대한 항산화 성분과 항산화 활성에 대한 이상의 연구 결과는 건강 증진을 위한 팔 제품 개발 시 팔의 효율적인 사용을 위해 유용할 것으로 사료된다.

감사의 글

본 연구는 농림축산식품부 고부가 식품기술개발사업에 의해 이루어진 것으로 연구비 지원에 감사드립니다.

REFERENCES

- Ogawa T, Abe S, Kugimiya M. 1983. Gelatinization of starch in dried azuki Ann granules. *J Jap Soc Food Sci Technol* 30: 323-330.

2. Tjahjadi C, Lin S, Breene WM. 1988. Isolation and characterization of adzuki bean (*Vigna angularis* cv *Takara*) proteins. *J Food Sci* 53: 1438-1443.
3. Hsieh HM, Pomeranz Y, Swanson BG. 1992. Composition, cooking time, and maturation of adzuki (*Vigna angularis*) and common bean (*Phaseolus vulgaris*). *Cereal Chem* 69: 244-248.
4. Ariga T, Hamano M. 1990. Radical scavenging action and its mode in procyanidins B-1 and B-3 from azuki beans to peroxy radicals. *Agric Biol Chem* 54: 2499-2504.
5. Pataki T, Bak I, Kovacs P, Bagchi D, Das DK, Tosaki A. 2002. Grape seed proanthocyanidins improved cardiac recovery during reperfusion after ischemia in isolated rat hearts. *Am J Clin Nutr* 75: 894-899.
6. Facchini FS, Saylor KL. 2003. A low-iron-available, polyphenol-enriched, carbohydrate-restricted diet to slow progression of diabetic nephropathy. *Diabetes* 52: 1204-1209.
7. Mukai Y, Sato S. 2011. Polyphenol-containing azuki bean (*Vigna angularis*) seed coats attenuate vascular oxidative stress and inflammation in spontaneously hypertensive rats. *J Nutr Biochem* 22: 16-21.
8. Kato J, Meguro T, Suzuki MM, Deeth HC. 2000. Variations in the seed coat colour of adzuki beans in the aspects of varieties, harvest years and growing locations, using two-dimensional colour mapping. *Plant Prod Sci* 3: 61-66.
9. Kim HS, Kim SD, Park SI, Son SY, Jong SK, Song BH. 1998. Variation in morphological characteristics of *V. umbellata* (Thunb.) Ohwi & Ohashi, *V. angularis* var. *nipponensis* (Ohwi) Ohwi & Ohashi and *V. angularis* (Willd.) Ohwi & Ohashi. *Korean J Breed* 30: 343-349.
10. Sefa-Dedeh S, Stanley DW. 1979. Textural implications of the microstructure of legumes. *Food Technol* 33: 77-83.
11. Rho CW, Son SY, Hong ST, Lee KH, Ryu IM. 2003. Agronomic characters of Korean adzuki beans (*Vigna angularis* (Willd.) Ohwi & Ohashi). *Korean J Plant Res* 16: 147-154.
12. Yoon ST, Qin Y, Kim TH, Choi SC, Nam JC, Lee JS. 2012. Agronomic characteristics of adzuki bean (*Vigna angularis* W.F. Wight) germplasm in Korea. *Korean J Crop Sci* 57: 7-15.
13. Kim EH, Song HK, Park YJ, Lee JR, Kim MY, Chung IM. 2011. Determination of phenolic compounds in adzuki bean (*Vigna angularis*) germplasm. *Korean J Crop Sci* 56: 375-384.
14. Song SB, Seo HI, Ko JY, Lee JS, Kang JR, Oh BG, Seo MC, Yoon YN, Kwak DY, Nam MH, Woo KS. 2011. Quality characteristics of adzuki bean sediment according to variety. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 40: 1121-1127.
15. Kim HJ, Sohn KH, Park HK. 1990. Emulsion properties of small red bean protein isolates. *Korean J Soc Food Sci* 6: 9-14.
16. Kim CK, Oh BH, Na JM, Sin DH. 2003. Comparison of physicochemical properties of Korean and Chinese red bean starches. *Korean J Food Sci Technol* 35: 551-555.
17. Song SB, Ko JY, Kim JI, Lee JS, Jung TW, Kim KY, Kwak DY, Oh YS, Woo KS. 2013. Changes in physicochemical characteristics and antioxidant activity of adzuki bean and adzuki bean tea depending on the variety and roasting time. *Korean J Food Sci Technol* 45: 317-324.
18. Woo KS, Song SB, Ko JY, Seo MC, Lee JS, Kang JR, Oh BG, Nam MH, Jeong HS, Lee J. 2010. Antioxidant components and antioxidant activities in methanolic extract from adzuki beans (*Vigna angularis* var. *nipponensis*). *Korean J Food Sci Technol* 42: 693-698.
19. Choi YH, Kang MY, Nam SH. 1998. Inhibitory effect of various cereal and bean extracts on carcinogenicity *in vitro*. *Korean J Food Sci Technol* 30: 964-969.
20. Anton AA, Ross KA, Beta T, Fulcher RG, Arntfield SD. 2008. Effect of pre-dehulling treatments on some nutritional and physical properties of navy and pinto beans (*Phaseolus vulgaris* L.). *LWT—Food Sci Technol* 41: 771-778.
21. Deshpande SS, Sathe SK, Salunkhe DK, Cornforth DP. 1982. Effects of dehulling on phytic acid, polyphenols, and enzyme inhibitors of dry beans (*Phaseolus vulgaris* L.). *J Food Sci* 47: 1846-1850.
22. Lee LS, Choi EJ, Kim CH, Kim YB, Kum JS, Park JD. 2014. Quality characteristics and antioxidant properties of black and yellow soybean. *Korean J Food Sci Technol* 46: 757-761.
23. Xu B, Chang SK. 2008. Antioxidant capacity of seed coat, dehulled bean, and whole black soybeans in relation to their distributions of total phenolics, phenolic acids, anthocyanins, and isoflavones. *J Agric Food Chem* 56: 8365-8373.
24. Slinkard K, Singleton VL. 1977. Total phenol analyses: automation and comparison with manual methods. *Am J Enol Vitic* 28: 49-55.
25. Porter LJ, Hrstich LN, Chan BG. 1985. The conversion of procyanidins and prodelphinidins to cyanidin and delphinidin. *Phytochem* 25: 223-230.
26. Benzie IF, Strain JJ. 1996. The ferric reducing ability of plasma (FRAP) as a measure of "antioxidant power": the FRAP assay. *Anal Biochem* 239: 70-76.
27. Brand-Williams W, Cuvelier ME, Berset C. 1995. Use of free radical method to evaluate antioxidant activity. *LWT—Food Sci Technol* 28: 25-30.
28. Thaipong K, Boonprakob U, Crosby K, Cisneros-Zevallos L, Hawkins Byrne D. 2006. Comparison of ABTS, DPPH, FRAP, and ORAC assays for estimating antioxidant activity from guava fruit extracts. *J Food Compos Anal* 19: 669-675.
29. Taira H, Saito M, Hara M, Ichikawa N, Hosoya E. 1989. Differences of cultivar and location on the qualities of adzuki beans grown in Hokkaido. *Nippon Shokuhin Kagaku Kogaku Kaishi* 36: 812-826.
30. Yoshida K, Satoh H, Ueshima H, Ishii N, Sato M. 1991. The extent and its source of variation for characteristics related to seed quality of azuki beans. II. Variation of seed coat color among growers lots in Hokkaido area. *Jap J Crop Sci* 60: 234-240.
31. Baik BK, Klameczynska B, Czuchajowska Z. 1998. Particle size of unsweetened azuki paste as related to cultivar and cooking time. *J Food Sci* 63: 322-326.
32. Gu L, Kelm MA, Hammerstone JF, Beecher G, Holden J, Haytowitz D, Prior RL. 2003. Screening of foods containing proanthocyanidins and their structural characterization using LC-MS/MS and thiolytic degradation. *J Agric Food Chem* 51: 7513-7521.
33. Amarowicz R, Piskula M, Honke J, Rudnicka B, Troszynska A, Kozłowska H. 1995. Extraction of phenolic compounds from lentil seeds (*Lens culinaris*) with various solvents. *Pol J Food Nutr Sci* 4: 53-62.
34. Kato J, Souma C. 2005. Nondestructive estimation method for polyphenol content and antioxidative activity of adzuki bean. *Jap J Soil Sci Plant Nutr* 76: 205-208.
35. Amarowicz R, Estrella I, Hernández T, Troszynska A, Agnieszka K, Pegg RB. 2008. Antioxidant activity of extract of adzuki bean and its fractions. *J Food Lipids* 15: 119-136.
36. Krenn L, Steitz M, Schlicht C, Kurth H, Gaedcke F. 2007. Anthocyanin- and proanthocyanidin-rich extracts of berries in food supplements—analysis with problems. *Pharmazie*

- 62: 803-812.
37. Huang D, Ou B, Prior RL. 2005. The chemistry behind antioxidant capacity assays. *J Agric Food Chem* 53: 1841-1856.
38. Xu BJ, Chang SK. 2007. A comparative study on phenolic profiles and antioxidant activities of legumes as affected by extraction solvents. *J Food Sci* 72: S159-S166.
39. Cardador-Martínez A, Castaño-Tostado E, Loarca-Piña G. 2002. Antimutagenic activity of natural phenolic compounds present in the common bean (*Phaseolus vulgaris*) against aflatoxin B1. *Food Addit Contam* 19: 62-69.